

**Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta**

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Geologie



Stanovení negativního pórového tlaku téglu filtračním papírem

Suction in undisturbed samples of Brno Clay determined by filter paper method

Bakalářská práce

Tomáš Mohyla

Vedoucí práce: Ing. Jan Boháč, CSc.

Praha, srpen 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 23.8. 2012

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především Ing. Janu Boháčovi, CSc., který mi vždy ochotně pomohl, poradil a podporoval mě při zpracování této práce.

Dále děkuji Ing. Josefu Rottovi za informace o odběrech vzorků a Martinu Krupičkovi za pomoc v laboratoři.

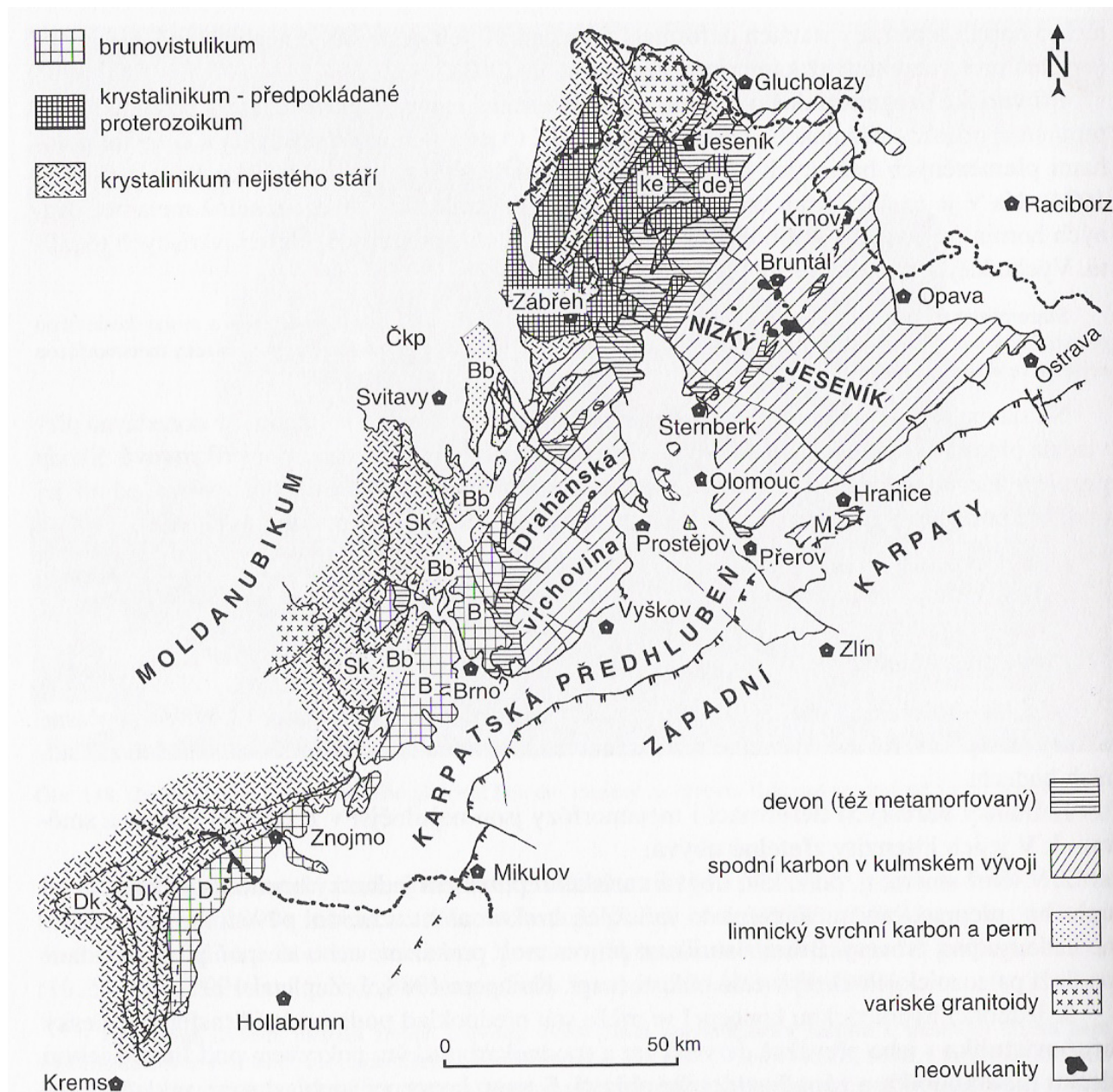
Za finanční podporu při řešení této bakalářské práce děkuji grantu GAČR P105/11/1884.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Geologie.....	2
2.1 Český masiv.....	2
2.2 Západní Karpaty.....	3
2.2.1 Karpatská předhlubeň.....	3
2.2.1.1 Baden karpatské předhlubně.....	4
2.3 Geotechnický pohled.....	5
3. Stanovení negativního pórového tlaku.....	5
3.1 Metody stanovení sání.....	5
4. IC suction probe.....	6
4.1 IC suction probe podle Ridleyho a Burlanda (1993).....	6
4.2 Upravené modely.....	7
5. Metoda filtračního papíru.....	8
5.1 Norma ASTM D 5298 – 03.....	8
5.1.1 Potřebné vybavení.....	8
5.1.2 Postup.....	9
5.1.3 Výpočet.....	10
6. Odběr a příprava vzorků.....	11
6.1 Vzorky I, II, III.....	12
6.2 Vzorky IV a V.....	12
7. Výsledky měření.....	13
8. Diskuze.....	14
8.1 Předpokládané hodnoty sání.....	14
8.2 Hodnoty sání londýnského jílu.....	14
8.3 Výsledky mých měření.....	16
8.3.1 Vyschnutí vzorků.....	16
8.3.2 Kontakt filtračního papíru se vzorky.....	16
8.3.3 Odklon od normy.....	17
8.3.4 Přesun filtračního papíru.....	17
8.3.5 Vážení.....	17
8.4 Hodnocení.....	17
9. Stanovení K ₀	18
10. Závěr.....	20
11. Seznam použitých podkladů.....	21

2. Geologie

Čtvrť Královo Pole a Žabovřesky, odkud pocházejí vzorky zkoumané v této práci, se nacházejí na SZ okraji města Brna. Brno a jeho okolí leží na rozhraní 2 soustav – Českého masivu a Západních Karpat, které se od sebe odlišují stářím a horninovým složením. Na Obr. 2 je znázorněn kontakt obou těchto jednotek.



Obr. 2: Geologická mapa kontaktu Západních Karpat a Českého masivu (Chlupáč et al., 2002). B – brněnský masiv; Bb – boskovická brázda; Čkp – česká křídová pánev; D – dyjský masiv; de – desenská klenba; Dk – dyjská klenba; ke – keprnická klenba; M – kra Maleníku; Sk – svratecká klenba

2.1 Český masiv

Východní okraj Českého masivu je v okolí města Brna reprezentován brněnským masivem. Tento masiv patří do regionu brunovistulika. Stáří brunovistulika je prekambričské a řadíme ho k moravskoslezské oblasti (moravosileziku). Vlastní brněnský masiv patří stejně jako

brunovistulikum do kadomského orogenního cyklu, což dokládají transgredující devonské vápence, kambrické uloženiny a radiometrická měření, které ukazují stáří 590-580 Ma i větší (Chlupáč et al., 2002). Během variské orogeneze došlo při kolizi moldanubika a brunovistulika k jeho přesunu do pozice, kterou v rámci Českého masivu zaujímá dodnes. V brněnském masivu jsou zastoupeny horniny dyjského teránu, metabazitové zóny a slavkovského teránu. Je tvořen převážně granodiority (v okolí čtvrti Královo Pole načervenalé barvy), které jsou metabazitovou zónou protaženou SJ směrem rozděleny na 2 části – severovýchodní monotónní a jihozápadní pestrá (Chlupáč et al., 2002). Metabazitová zóna je považována za kadomskou ofiolitovou jizvu.

V horninách dyjského teránu najdeme draslíkem bohaté biotitické a dvojslídne granity a granodiority.

Metabazitová zóna navazuje na dyjský terán a převažují v ní matagabra, metadiority a ultrabazika.

Slavkovský terán je v oblasti brněnského masivu zastoupen alkalicko-vápenatými amfibol-biotitickými granodiority a tonality.

Kromě granitoidů najdeme v okolí Brna devonské vápence a klastické sedimenty (křemenné pískovce, slepence, arkózy). Během jury byla oblast kolem Brna zalita mořem (Tethys). Jeho uloženiny (různé typy vápenců a rohovců) spočívají na podloží diskordantně a obsahují značné množství fauny. Brekcie a světlé vápence z konce spodní křídly jsou dokladem nové mořské transgrese, která následovala po rozsáhlé regresi koncem jury (Chlupáč et al., 2002).

2.2 Západní Karpaty

Soustava Západních Karpat je mladší než Český masiv, vznikla nezávisle na něm a prošla tedy odlišným vývojem. Pro tuto práci má význam především karpatská předhlubeň, protože právě zde vznikaly brněnské jíly - tzv. tégly, které jsou předmětem zájmu této práce.

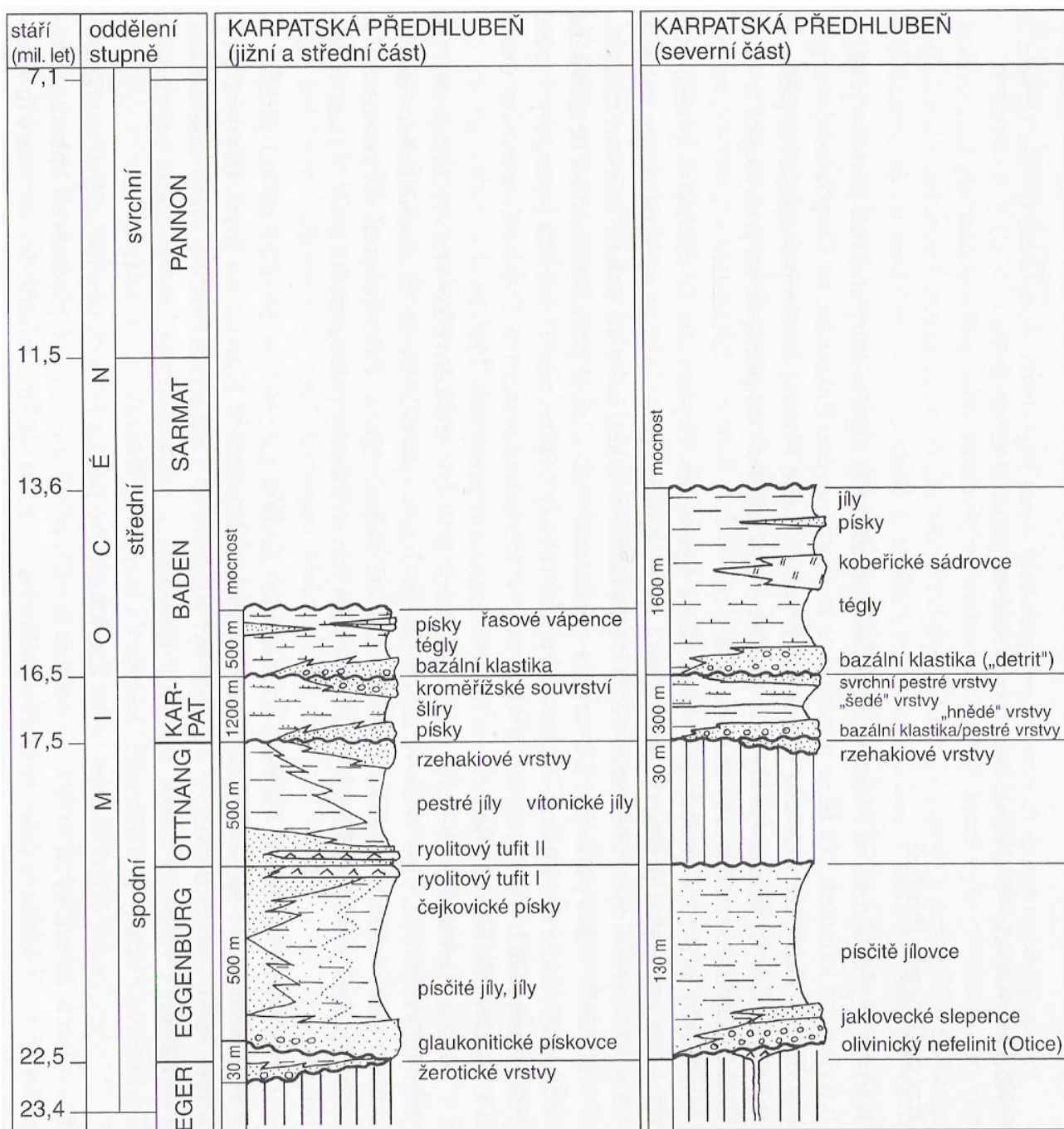
Vývoj Západních Karpat začíná již po skončení variské orogeneze, ale nejvýznamnější je období během alpinského vrásnění v terciéru. V průběhu alpinského vrásnění bylo flyšové pásmo Karpat nasunuto na Český masiv. Toto pásmo získalo během alpinských procesů příkrovovou stavbu, která je porušena systémem zlomů.

Pro Západní Karpaty jsou charakteristické flyšové sedimenty. Na území České republiky se vyskytují také různé typy břidlic, vápenců, případně dolomitů.

Během neogénu vznikaly nové pánve v oblasti předhlubně a také vídeňská pánev. Ukládaly se v nich především mořské, brakické a sladkovodní jíly, písky a štěrky, kromě toho také vápence, evapority a uhelné sedimenty (Chlupáč et al., 2002).

2.2.1 Karpatská předhlubeň

Karpatská předhlubeň vznikla v období mezi paleogénem a neogénem a leží diskordantně na horninách Českého masivu. Táhne se JZ – SV směrem z Rakouska, přes Českou republiku až do Polska. Jde o soustavu miocenních pánví, které se během terciéru přesouvaly do předpolí na, pod tíhou příkrovů prohnuté, okraj Českého masivu (Chlupáč et al., 2002). Sedimentovaly zde písky, jíly a štěrky. Důležitým obdobím ve vývoji karpatské předhlubně v okolí Brna je stupeň baden, během kterého se vytvářely vápnité nevrstevnaté jíly – tégly. Neogén karpatské předhlubně je znázorněn na Obr. 3.



Obr. 3: Stratigrafické schéma neogénu karpatské předhlubně na Moravě (Brzobohatý in Chlupáč et al., 2002)

2.2.1.1 Baden karpatské předhlubně

Vrstevní sled badenu začíná brekciemi kontinentálního původu. Ve spodním badenu však došlo k transgresi, což se ve vrstevním sledu projevilo. Najdeme v něm písky, štěrky a také tégly, které se ukládaly v hlubších a vzdálenějších částech pánve. Poté následovala krátká fáze regrese, při které předpolí Českého masivu pokleslo. Díky tomu se při následující transgresi moře rozlilo dále na Z (Chlupáč et al., 2002). Při druhé transgresi se uložily další vrstvy zeleno-šedých a hnědo-šedých tégly. V těchto vrstvách je zachována bohatá mikrofauna, např. foraminifery. Ve středu badenu sedimentovaly evapority, které ve svrchním badenu vystřídaly jíly a jílovce. Kromě zmíněných sedimentů najdeme v karpatské předhlubni bazaltové vulkanity, které do zálivu napadaly ve spodním badenu.

2.3 Geotechnický pohled

Brněnské jíly byly od doby svého uložení značně denudovány. Odhady mocnosti denudovaných nadložních vrstev se mezi různými autory liší. Obecně se však uvádí denudovaná mocnost v řádech desítek metrů. Brněnské jíly tedy zažily v minulosti větší zatížení, než jakému jsou vystaveny dnes, a proto je označujeme jako překonsolidované. Překonsolidační napětí stanovil Svoboda (2010) na 1800 kPa, což pro objemovou tíhu neporušeného jílu $\gamma = 18,8 \text{ kNm}^{-3}$ (Martin Krupička - elektronická korespondence) odpovídá původní mocnosti 96 m. Pokud budeme uvažovat vliv creepu, bude tato hodnota menší. Přesná měření však nejsou dostupná. O předdenudační mocnosti brněnského jílu pojednává Pavlová (2011), která zmiňuje, že pokud by byla hladina podzemní vody při povrchu, původní mocnost se zvýší na 204,5 m. Pro tuto práci je však důležitý fakt, že brněnský jíl je považován za překonsolidovaný.

3. Stanovení negativního pórového tlaku

Negativní pórový tlak (sání) významně ovlivňuje chování zemin. Stanovení sání využívá principu rovnováhy mezi daným přístrojem a zemínou. Pokud jsou tyto systémy dány do kontaktu, proudí mezi nimi voda z místa s vyšší potenciální energií do místa s nižší potenciální energií. Voda proudí tak dlouho, až je potenciální energie ve všech bodech stejná. V tu chvíli říkáme, že jsou oba systémy v rovnováze (Montañez, 2002).

Celkové sání je součtem kapilárního a osmotického sání a stanovuje se z vody, která uniká z pórů zeminy ve formě vodní páry. Osmotické sání je způsobeno nerozpuštěnými ionty ve vodě. Celkové sání lze vyjádřit jako energii, která je potřeba na uvolnění molekuly vody ze zeminy pomocí evaporace (Ridley (1993) in Montañez, 2002). Kapilární sání vyjádřil Ridley (1993 in Montañez, 2002) jako energii, která je potřebná na uvolnění molekuly vody ze zeminy bez toho, aby voda změnila skupenství. Kapilární sání můžeme také charakterizovat takto:

- $s = u_a - u_w$, kde u_a je tlak vzduchu v pórech, u_w je tlak vody v pórech

Pro studium nenasycených zemin je sání důležitým faktorem, který se v praxi dá stanovit několika způsoby. Příčinou je to, že každá metoda či přístroj pro stanovení sání mají svá omezení, kvůli kterým je není možné použít pro všechna měření. Mezi taková omezení lze zařadit například finanční náklady na vybavení a provádění zkoušek, přesnost metody či náročnost na vlastní provedení měření.

3.1 Metody stanovení sání

V zásadě existují dva způsoby, kterými lze sání měřit – přímé a nepřímé. U nepřímých metod je potřeba použít absorbent (sádra, filtrační papír), který do sebe nasaje vlhkost ze vzorku. Přímé metody žádný absorbent nepotřebují. Filtrační papír, sensory na elektrickou vodivost a sensory na tepelnou vodivost jsou pomůcky, pomocí nichž se sání v zeminách stanovuje nepřímo (Guan, 1996). Měření sání přímo ze vzorku se provádí pomocí snímačů tlaku, snímače osmotického tlaku, tlakového membránového přístroje, deskového snímače tlaku a modifikovaného snímače tlaku „Imperial College suction probe“ (Montañez, 2002).

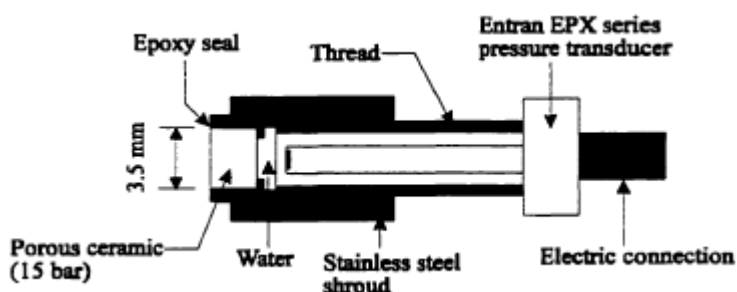
Moje laboratorní měření byla prováděna metodou filtračního papíru, která má nespornou výhodu v malých finančních nákladech na provedení a lze jí jako jedinou měřit jak kapilární tak i celkové sání. Tato práce je zaměřena na kapilární sání, proto se celkovým a osmotickým sáním již dále zabývat nebudu.

Velmi používaným aparátem na měření kapilárního sání mezi odbornou veřejností je snímač tlaku „Imperial College suction probe“ (dále jen snímač „IC suction probe“). Oproti metodě filtračního papíru je výrazně přesnější, protože minimalizuje podmínky k vysychání vzorků, kterému nelze u druhé metody vždy zabránit. Oba tyto způsoby stanovení sání jsou popsány níže.

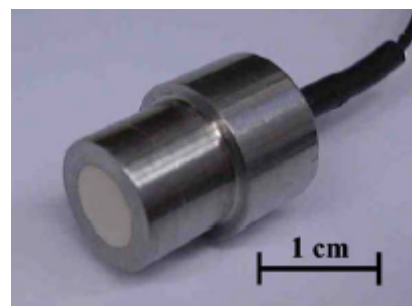
4. IC suction probe

Tento snímač tlaku byl vyvinut na Imperial College v Londýně Ridleyem a Burlandem (1993) a určuje se s ním kapilární sání. S jeho pomocí se sání ve vzorku měří přímo bez nutnosti použít absorbent a využívá se při terénních měřeních. Důvodem k představení tohoto přístroje byly problémy s bublinami vzduchu a kavitací u konvenčních snímačů (Jotisankasa, 2005). Jak již bylo zmíněno, jeho největší výhodou, v porovnání s metodou filtračního papíru, je větší přesnost. S pomocí tohoto snímače lze určit sání v rozpětí 0 – 1500 kPa.

4.1 IC suction probe podle Ridleyho a Burlanda (1993)



Obr. 4: „IC suction probe“ (after Ridley and Burland (1993) in Guan, 1996)

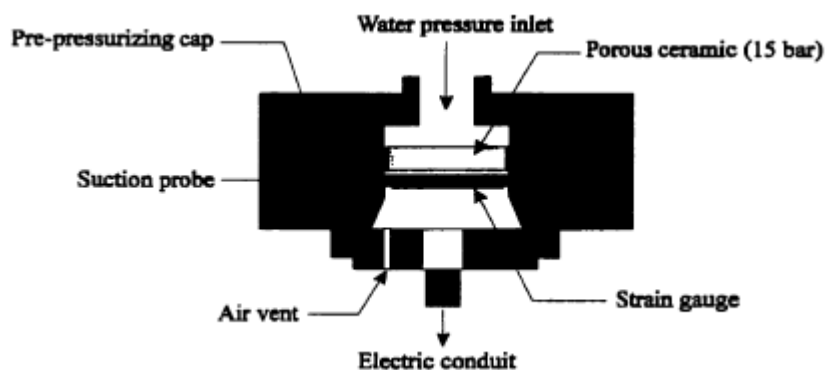


Obr. 5: Fotografie „IC suction probe“ - verze z roku 1996 (Tarantino et al., 2008)

Původní snímač „IC suction probe“ je 2 – 3 cm velký přístroj z nerezové oceli, který uvnitř obsahuje membránu osazenou odporovým tenzometrem. Přístroj má na jednom konci vysoce porézní keramický disk. Mezi keramickým diskem nasyceným vodou a membránou je malá vrstva vody – 3 mm³ (Ridley and Burland, 1993), která zabraňuje kavitaci. Snímač „IC suction probe“ funguje na principu rovnováhy tlaků mezi vodou v přístroji a vodou v pórech zeminy. Voda proudí přes keramický filtr mezi zeminou a přístrojem dokud nedojde k rovnováze. Aby bylo dosaženo správných výsledků, je nutné mít přístroj v dostatečném kontaktu se vzorkem zeminy. Pokud je kontakt špatný, keramický disk se vysušuje a nedojde k rovnováze mezi snímačem a zeminou.

Pomocí snímače tlaku se neměří přímo kapilární sání. Snímač měří pouze negativní pórový tlak (u_w). Pokud známe tlak vzduchu v pórech (u_a), stanoví se kapilární sání snadno z rovnice $s = u_a - u_w$.

Na Obr. 6 je schéma vylepšeného modelu snímače „IC suction probe“, ve kterém byla odstraněna závitová část přístroje a ten je tak tvořen jen jedním kusem nerezové oceli.



Obr. 6: Upravená verze snímače tlaku „IC suction probe“ (after Ridley and Burland (1993) in Guan, 1996)

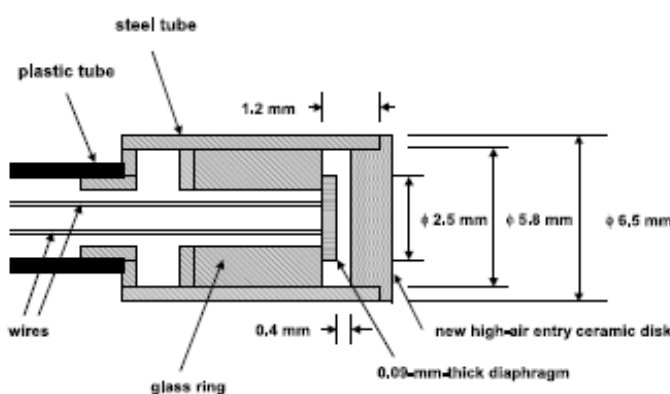
Před prezentací přístroje odborné veřejnosti byl snímač testován na vzorcích jílu. Jíl byl zvolen proto, aby se minimalizovala přítomnost vzduchových bublin v pórech zeminy. Následně byly výsledky konfrontovány s hodnotami naměřenými jinými metodami. V porovnání s metodou filtračního papíru vykazoval snímač „IC suction probe“ mnohem větší hodnoty sání.

Kalibrace přístroje se provádí v pozitivních tlacích. Kalibraci je proto třeba extrapolovat do negativních tlaků (Jotisankasa, 2005).

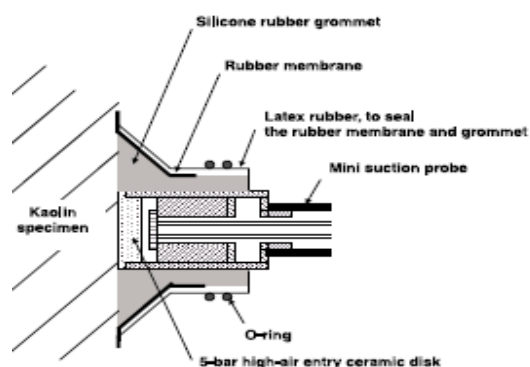
Na určení sání potřebuje tento přístroj řádově minuty. Měření je s ním tedy výrazně rychlejší než v případě metody filtračního papíru a jak již bylo zmíněno, také přesnost tohoto přístroje je výrazně větší.

4.2 Upravené modely

Od prezentace původního modelu byl snímač „IC suction probe“ různými autory několikrát modifikován. Jednalo se o úpravy pórovitosti keramického disku, výměnu snímače za lepší model. Měnil se také objem vodní vrstvy mezi keramickým diskem a membránou. Kvůli snížení výrobní ceny představili někteří autoři přístroje z odlišného materiálu než z olova, např. z akrylátu.



Obr. 7: „Mini suction probe“ (Meilani et al., 2002)



Obr. 8: Detail instalace „Mini suction probe“ na vzorek v triaxiální komoře (Meilani et al., 2002)

Obr. 7 znázorňuje snímač tlaku „Mini suction probe“ prezentovaný Meilani et al. (2002). Jedná se o zmenšenou verzi přístroje navrženého Ridleyem a Burlandem. Výrazné změny jsou patrné především v použitém materiálu na konstrukci přístroje. Důvodem k navržení tohoto přístroje byl fakt, že Ridleyho a Burlandovu (1993) sondu nelze použít v trojosých komorách. Nemůže být totiž

ponožena po delší dobu ve vodě.

Jak uvádí Meilani et al. (2002), sonda musí splňovat dvě podmínky. Musí mít rychlou odezvu a musí být schopna vydržet vysokotlaké podmínky po dlouhou dobu triaxiálních zkoušek. Na Obr. 8 je znázorněn snímač „Mini suction probe“ instalovaný na vzorek v triaxiální komoře.

5. Metoda filtračního papíru

Měření sání filtračním papírem je založeno na principu rovnováhy vlhkosti mezi vzorkem zeminy a filtračním papírem. Papír při kontaktu se vzorkem nasákne vodou obsaženou zemině a při dostatečně dlouhém kontaktu dojde k rovnováze. To znamená, že dojde k vyrovnání vlhkosti mezi papírem a vzorkem zeminy. V tu chvíli je možné experiment ukončit, protože papír již další vodu nasávat nebude. Doporučenou dobu, po kterou má být zemina v kontaktu s papírem, udává norma American Society for Testing and Materials D 5298 - 03 (dále jen ASTM) - viz níže. Po dosažení rovnováhy se stanoví obsah vody ve filtračním papíru a následně se pomocí příslušné kalibrační křivky pro daný typ papíru spočte sání. Rozsah metody pro hodnoty kapilárního sání je 30 – 30000 kPa (Ridley and Burland, 1993).

Na rozdíl od ostatních metod určování sání má tato nespornou výhodu ve své menší finanční náročnosti. Nelze však opomenout její záporné stránky: malá přesnost, náchylnost k vysušení vzorků, špatná použitelnost v terénních podmínkách a v neposlední řadě také závislost na zkušenostech a zručnosti laboranta.

Jak jsem zmínil výše, je využití v terénních podmínkách komplikované. Přesto Crilley et al. (1991 in Tarantino et al., 2008) navrhli pro in situ měření takové vybavení, které umožňuje stanovení celkového sání. Metodu pro in situ stanovení kapilárního sání představili Wang a Lao (2002 in Tarantino et al., 2008). Její součástí je gumová trubička, která tlačí filtrační papír na stěny vrtu proto, aby byl zajištěn dostatečný kontakt papíru se zeminou (Tarantino et al., 2008)

5.1 Norma ASTM D 5298 – 03

Pro určení sání metodou filtračního papíru existuje norma ASTM. Někteří autoři (např. Head, 2006) sice uvádějí postupy trochu odlišné, ale odklon od normy je minimální. Jde především o různé verze kalibračních křivek pro filtrační papíry, což ale výsledky měření ovlivňuje velmi málo. V části 5.1.2 je uveden pracovní postup, který vychází z normy ASTM a zde je uveden ve velmi zestručněné formě a je popsán pouze pro stanovení kapilárního sání.

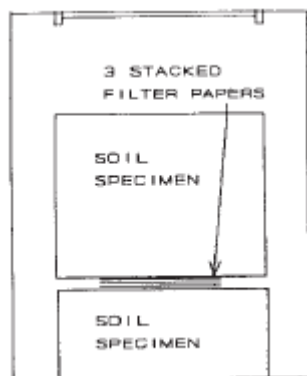
Na měření kapilárního sání jsou potřeba 3 filtrační papíry kruhového tvaru, které se položí na sebe. Nejdůležitější z nich je prostřední papír, který je chráněn dalšími dvěma papíry před znečištěním vzorkem zeminy (viz Obr. 9). Krajní papíry by měly mít o kousek větší průměr (norma uvádí 3 – 4 mm), než papír prostřední. Toho lze dosáhnout zastřížením prostředního papíru. Při měření je nutné pracovat v rukavicích, aby se zabránilo kontaminaci papírů a vzorků potem. Filtrační papíry nesmějí být použity na více měření. Po skončení zkoušky musejí být vyhozeny.

5.1.1 Potřebné vybavení

Vzorky zeminy, filtrační papíry, plastové uzavíratelné sáčky, váha s přesností na 0,0001 g, pinzeta, izolační páska, elektrická sušárna, jednorázové latexové rukavice.

5.1.2 Postup

- Filtrační papíry (v mém případě typ Whatman No. 42, 70 mm průměr) se dají minimálně na 16 h sušit při teplotě $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Obr. 9: Schéma umístění filtračních papírů mezi 2 vzorky zeminy pro měření kapilárního sání (ASTM, 2003)

- Jak lze vidět na Obr. 9, filtrační papíry jsou umístěny mezi 2 vzorky zeminy. Ty vznikly rozdělením vzorku většího. Pro správné výsledky měření je třeba, aby při dělení vzorku nedošlo k jeho porušení. To znamená, že se nesmí změnit struktura a vlhkost vzorku. Celková hmotnost vlhkých vzorků, mezi nimiž jsou umístěny filtrační papíry, by měla být v rozmezí 200 – 400 g.
- Mezi dva vzorky zeminy se tedy umístí tři 3 filtrační papíry, vloží se do několika plastových sáčků a obalí izolační páskou. Zde dochází k odklonu od normy - komentář viz 8.3.3.
- Vzorky v sáčcích se skladují po dobu minimálně sedmi dnů v místě se stálou teplotou (typicky 20°C), která kolísá v rozmezí menším než 3°C . To je důležité proto, aby se zabránilo kondenzaci.
- Po sedmi dnech se pomocí pinzety prostřední filtrační papír přesune do uzavíratelného plastového sáčku, u kterého se předtím stanoví hmotnost (T_c – viz 5.1.3). Tu je potřeba určit s přesností na 0,0001 g.
- Tato část postupu je obzvláště důležitá. Přenesení papíru z jednoho sáčku do druhého musí proběhnout nejdéle v rozmezí 3 – 5 s. Během tohoto procesu totiž dochází ke ztrátě vody z filtračního papíru. Pozorování, která byla na toto téma provedena, ukázala, že při relativní vlhkosti v místnosti od 30 do 50 % dochází během 5 až 10 s k vypaření 5 % vody z filtračního papíru (ASTM D 5298 - 03).
- Po přenesení papíru a jeho uzavření v sáčku se ihned stanoví hmotnost sáčku s papírem (M_1 – viz 5.1.3) s přesností na 0,0001g.
- Filtrační papír se vyjme z plastového sáčku a umístí se minimálně na 2 h do sušárny, ve které je udržována teplota $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Po vysušení se papír vrátí opět do sáčku, ve kterém se vážil mokrá. Určí se hmotnost sáčku se suchým papírem (M_2 – viz 5.1.3).
- Papír se ze sáčku odstraní a zváží se samotný sáček (T_h – viz 5.1.3).

5.1.3 Výpočet

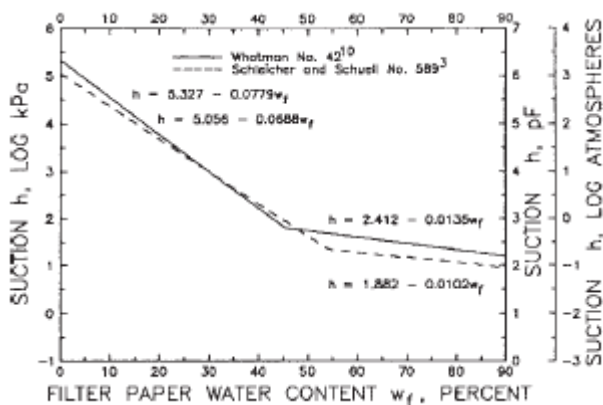
Pro každý filtrační papír je třeba spočítat:

- $M_f = M_2 - T_h$
- $M_w = M_1 - M_2 + T_h - T_c$
- $w_f = M_w/M_f * 100$
- $h(p_k) = mw_f + b$

kde

M_f	=	hmotnost suchého filtračního papíru (g)
M_w	=	hmotnost vody ve filtračním papíru (g)
M_1	=	hmotnost mokrého filtračního papíru + hmotnost sáčku (g)
M_2	=	hmotnost suchého filtračního papíru + hmotnost sáčku (g)
T_c	=	hmotnost sáčku před vložením mokrého filtračního papíru (g)
T_h	=	hmotnost sáčku po vyjmutí suchého filtračního papíru (g)
w_f	=	obsah vody ve filtračním papíru (%)
$h(p_k)$	=	sání (\log_{10} kPa)
m, b	=	parametry kalibrační křivky pro filtrační papír

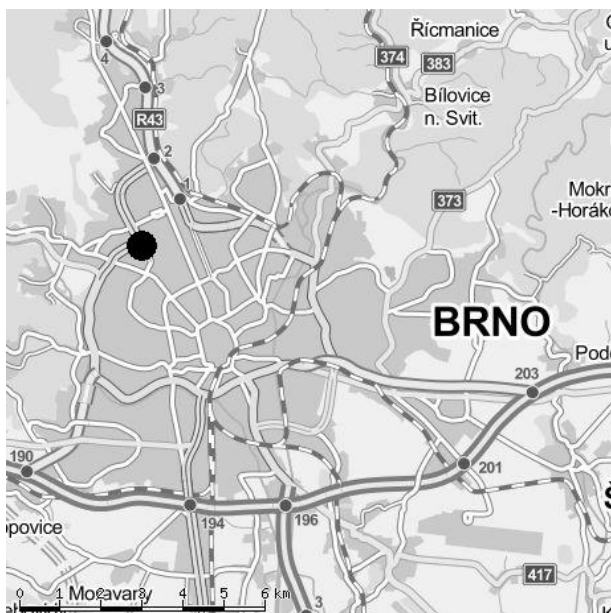
Z vypočtené hodnoty w_f se stanoví sání dosazením do rovnice pro kalibrační křivku. Kalibrační křivka pro filtrační papír Whatman No. 42 je na Obr. 10 a její rovnice je $h = 5,327 - 0,0779 * w_f$.



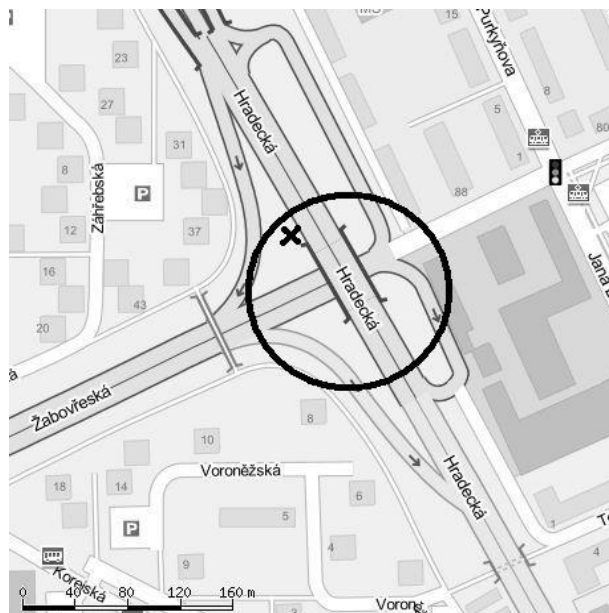
Obr. 10: Kalibrační křivky pro filtrační papíry Whatman a Schleicher (Greacen et al. in ASTM D 5298 - 3, 2003)

6. Odběr a příprava vzorků

Tato práce zkoumá vzorky téglu pocházející z Brna. Na Obr. 11 a Obr. 12 je zobrazena lokalita vrtů, ze kterých byly vzorky získány. V této lokalitě bylo provedeno několik vrtů. Vzorky z nich jsou v současnosti na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze zkoumány např. v trojosých přístrojích nebo edometrech. Vrt, ze kterého byl odebrán tégl pro měření sání, je na Obr. 12 vyznačen křížkem.



Obr. 11: Lokalizace vrtů (www.mapy.cz, 4.8.2012, upraveno)



Obr. 12: Detailní mapa lokality; x - vrt (www.mapy.cz, 4.8.2012, upraveno)

Na vzorcích téglu odebraných na lokalitě dle Obr. 11 byly patrné predisponované plochy porušení, značná puklinatost (Ing. Josef Rott - elektronická korespondence) a obsahovaly značné množství sádrovce.

Pro správné výsledky zkoušek, realizovaných v laboratořích Přírodovědecké fakulty na brněnských téglech, byly nezbytnou podmínkou neporušené vzorky. Toto kritérium značně komplikoval sádrovec. Jeho přítomnost v odebraných vzorcích značně kolísala s hloubkou. Některé vzorky se pro zkoušky např. v edometrech nedaly vůbec použít. Metoda filtračního papíru však neklade tak velké nároky na přesné rozměry zkoumaného vzorku, a proto jsem ve svých měřeních využil právě ty vzorky, které byly pro edometr nepoužitelné. Nařezal jsem je tak, aby se nezměnila jejich struktura, a zároveň aby neobsahovaly sádrovec. V takovém případě by bylo měření nepřesné.

První 3 vzorky, na nichž bylo měřeno sání, pocházejí z hloubky 14,6 – 14,9 m, další 2 pak z hloubky 9,5 – 10 m a byly odebrány 21.11. 2011. Okamžitě po odběru byly neporušené vzorky v tenkostěnných ocelových odběracích zabaleny do plastové fólie, přepraveny do Prahy a uloženy ve skladu.

Vlastní měření sání probíhalo na prvních třech vzorcích v prosinci 2011. Kontrolní měření na dalších dvou vzorcích proběhlo na přelomu dubna a května 2012. Kvůli snadnějšímu popisu jsou dále jednotlivé vzorky označeny římskými číslicemi (**I**, **II**, **III**, **IV**, **V**) v pořadí, v jakém na nich byly uskutečněny zkoušky.

6.1 Vzorky I, II, III

První série zkoušek na neporušených vzorcích odebraných z hloubky 14,6 - 14,9 m proběhla od 12.12.2011 do 21.12. 2011.

V době, kdy jsem prováděl své zkoušky na prvních třech vzorcích, byla na fakultě souběžně realizována i měření v edometrech. Edometrické zkoušky na téglu jsou součástí bakalářské práce kolegy Martina Krupičky (2012). Pro měření sání filtračním papírem není tvar a velikost vzorků tak důležitým faktorem, jako je tomu v případě edometrických zkoušek. Proto jsem pro svá měření použil vzorky, které nebyly použity pro měření v edometrech. Vzorky jsme s kolegou nejprve vytlačili z odběráků a následně rozřezali na menší části. Při řezání neporušených vzorků jsme postupovali tak, aby se nezměnila jejich struktura a vlhkost. Práci nám velmi komplikoval přítomný sádrovec. Kvůli němu byly některé vzorky pro naše zkoušky nepoužitelné. Další postup probíhal podle normy ASTM (viz 5.1.2).

Filtrační papíry se před kontaktem se vzorky sušily 24 h při teplotě 110° C.

Tégl byl v kontaktu s filtračními papíry 7 dní.

Vodou nasáknuté filtrační papíry jsem zvážil a před dalším vážením se sušily 22 h a 30 min.

6.2 Vzorky IV a V

Kontrolní série měření byla realizována na neporušených vzorcích odebraných z hloubky 9,5 - 10 m v rozmezí od 25.4.2012 do 9.5.2012.

Kontrolní měření proběhlo po dlouhé časové prodlevě. Proto jsem očekával, že se výsledky mohou od prvních tří měření značně lišit. Předpoklad byl takový, že neporušené vzorky, zabalené pouze v plastové fólii (z odběráku byly vytlačeny v tomto případě již dříve) a uložené ve skladu, budou po takové době již poněkud vyschlé. Z toho důvodu jsem pro měření sání použil vzorky vyříznuté z osy válcového vzorku, který byl vytlačen z odběráku. Předpoklad o vysušených vzorcích se nepotvrdil (viz bod 8.).

Filtrační papíry se před kontaktem se vzorky zeminy sušily 18 h při teplotě 110° C.

Tégl byl v kontaktu s filtračními papíry 13 dní.

Vodou nasáknuté filtrační papíry jsem zvážil a před dalším vážením se sušily 3 h.

Hmotnost vlhkých vzorků má podle normy ASTM být v intervalu 200 - 400 g. V Tab. 1 jsou uvedeny hmotnosti všech pěti zkoumaných vzorků s přesností na 0,1 g. Jak bylo zmíněno výše, pro své zkoušky jsem použil filtrační papír Whatman No. 42, „ashless“ o průměru 70 mm. Teplota v místnosti, kde byly vzorky během měření skladovány, byla 22° C.

číslo vzorku	I	II	III	IV	V
hmotnost (g)	224,9	217,1	226,3	299,2	318,9

Tab. 1: Hmotnost vzorků

7. Výsledky měření

V Tab. 2 jsou uvedeny výsledky měření a také výpočtů podle 5.1.3.

číslo vzorku	I	II	III	IV	V
hloubka odběru (m)	14,6 - 14,9	14,6 - 14,9	14,6 - 14,9	9,5 - 10	9,5 - 10
T_c (g)	1,5081	1,6294	1,6594	1,3425	1,3510
M_1 (g)	1,9470	2,0789	2,1037	1,7986	1,8145
M_2 (g)	1,8608	1,9910	2,0175	1,7002	1,7141
T_h (g)	1,5084	1,6248	1,6580	1,3415	1,3513
M_f (g)	0,3524	0,3662	0,3595	0,3587	0,3628
M_w (g)	0,0865	0,0833	0,0848	0,0974	0,1007
w_f (%)	24,5460	22,7471	23,5883	27,1536	27,7563
h (log kPa)	3,4149	3,5550	3,4895	3,2117	3,1648
h (kPa)	2599,3748	3589,2058	3086,5271	1628,2975	1461,4405

Tab. 2: Výsledky měření

T_c = hmotnost sáčku před vložením mokrého filtračního papíru (g)

M_1 = hmotnost mokrého filtračního papíru + hmotnost sáčku (g)

M_2 = hmotnost suchého filtračního papíru + hmotnost sáčku (g)

T_h = hmotnost sáčku po vyjmutí suchého filtračního papíru (g)

M_f = hmotnost suchého filtračního papíru (g)

M_w = hmotnost vody ve filtračním papíru (g)

w_f = obsah vody ve filtračním papíru (%)

h = sání (\log_{10} kPa, kPa)

8. Diskuze

Sání lze předem odhadnout pomocí jednoduché úvahy, která je popsána v části 8.1.

Vzhledem k podobnému geologickému prostředí a mechanickému chování lze brněnský jíl porovnat s překonsolidovaným londýnským jílem. Ten je pro potřeby této práce zajímavý hodnotami sání a také hodnotami součinitele tlaku v klidu (K_0). Výsledky zkoušek, které byly na londýnském jílu provedeny, tak mohou pomoci při hodnocení výsledků mých vlastních měření na brněnském téglu. V odstavci 8.2 jsou uvedeny hodnoty sání londýnského jílu. V kapitole 9. je pak londýnský jíl zmiňován v souvislosti se součinitelem K_0 .

8.1 Předpokládané hodnoty sání

Pokud je zemina považována za izotropní materiál a je zanedbána hladina podzemní vody, lze sání vyjádřit jednoduchou rovnicí, jak uvádí např. Doran et al. (2000):

- $p'_k/\sigma'_{v0} = (1 + 2K_0)/3$, kde p'_k je sání, σ'_{v0} je efektivní vertikální napětí in situ, K_0 součinitel tlaku v klidu

Jednoduchou úpravou s využitím $K_0 = \sigma'_h/\sigma'_v$ (viz 9.) dostaneme rovnici:

- $p'_k = (\sigma'_{v0} + 2\sigma'_{h0})/3$, kde p'_k je sání, σ'_{v0} je efektivní vertikální napětí in situ, σ'_{h0} je efektivní horizontální napětí in situ

Pokud se zvolí K_0 a dosadí se do první rovnice, lze při znalosti σ'_{v0} přibližně odhadnout, jaké hodnoty sání lze u dané zeminy očekávat. Brněnský jíl má objemovou tíhu $\gamma = 18,8 \text{ kNm}^{-3}$ (Martin Krupička - elektronická korespondence). Pro hloubky odběru 10 m a 15 m je tak přibližná hodnota $\sigma'_{v0} = 188 \text{ kPa}$, resp. 282 kPa . Pro výpočet jsem zvolil $K_0 = 2$. Tato hodnota je sice nerealisticky vysoká, pro hrubou představu o sání brněnského jílu ji ale lze použít. Pokud dosadím K_0 a σ'_{v0} do první rovnice, je $p'_k = 313 \text{ kPa}$ pro hloubku 10 m, pro hloubku 15 m je $p'_k = 470 \text{ kPa}$. Tento výpočet je velmi přibližný. Je však patrné, i při zvoleném nerealisticky vysokém K_0 , že sání brněnského téglu by mělo být v řádu 10^2 kPa . Odhadnuté sání je porovnáno s naměřenými hodnotami v části 8.3.

8.2 Hodnoty sání londýnského jílu

Londýnský jíl se ukládal v Londýnské pánvi, která se rozkládá na území Londýna a v jeho širokém okolí. Je ohraničena křídovými výchozy a směrem na východ sahá až do Severního moře. K ukládání šedomodrého jílu docházelo během eocénu. Londýnský jíl obsahuje hojně pyrit a je často porušen bioturbací (Royse et al., 2011).

Zatímco pro brněnské těgлы jsou hodnoty sání v podstatě neznámé, londýnský jíl je v tomto ohledu mnohem více prozkoumán. Aby bylo možné mezi sebou hodnoty sání londýnského a brněnského jílu porovnat, jsou dále uvedeny pouze některé výsledky měření na vzorcích londýnského jílu. Jedná se o hodnoty sání pro hloubky, které odpovídají hloubkám odběru vzorků téglu. Z dostupných dat nelze porovnat sání pro přesně totožné hloubky. Proto jsou níže porovnány hodnoty sání pro hloubky co nejvíce se blíží hloubkám, na kterých bylo měřeno sání v rámci této práce.

Sání londýnského jílu stanovil již Skempton (1961). Zkoušky prováděl na neporušených vzorcích pocházejících z Bradwellu v hrabství Essex. Měření provedl čtyřmi různými metodami - přímým

měřením bobtnacích tlaků, nepřímým měřením bobtnacích tlaků, stanovením neodvodněné pevnosti v triaxiálním přístroji a měřením sání v triaxiální komoře. Výsledky ze všech těchto metod se velmi dobře shodují. Po zprůměrování dostal Skempton hodnoty, které jsou uvedeny v Tab. 3. Jedná se o hodnoty ve standardních imperiálních jednotkách, které jsem v Tab. 4 převedl do jednotek SI a zaokrouhlil na jedno desetinné místo.

vzorky	hloubka (ft.)	sání (lb./ft. ²)
5 & 6	11	1800
7 & 8	20	2500
1	23	2750

Tab. 3: Hodnoty sání londýnského jílu ve standardních imperiálních jednotkách (převzato ze Skempton, 1961)

vzorky	hloubka (m)	sání (kPa)
5 & 6	3,4	86,1
7 & 8	6,1	119,6
1	7,0	131,6

Tab. 4: Hodnoty sání londýnského jílu v jednotkách SI (převzato a upraveno ze Skempton, 1961)

Kapilární sání pro celý hloubkový profil určil Skempton využitím parametrů c' , A_f , Φ' a změn pevnosti s hloubkou. Z těchto parametrů potom sání odhadl. Průměrné hodnoty, které uvádí, jsou následující: soudržnost $c' = 380 \text{ lb./ft.}^2$ (18,2 kPa), úhel vnitřního tření v kritickém stavu $\Phi' = 20^\circ$ a koeficient pórového tlaku $A_f = 0,25$. V Tab. 5 jsou uvedeny Skemptonem odhadnuté hodnoty sání pro celý profil s krokem 10 ft., které jsou v tabulce převedeny do jednotek SI a zaokrouhleny na jedno desetinné místo. Na první pohled je zřejmé, že sání změřené (viz Tab. 4) se od sání odhadnutého liší. Řádově se však hodnoty dají považovat za sobě odpovídající.

hloubka (m)	3,0	4,6	6,1	9,1	12,2	15,2	18,3	21,3	24,4	27,4	30,5	33,5
sání (kPa)	60,3	99,5	136,4	193,8	239,7	275,1	305,7	333,0	356,5	378,9	398,1	416,3

Tab. 5: Hodnoty sání londýnského jílu pro celý profil (převzato a upraveno ze Skempton, 1961)

Pro hodnocení výsledků měření sání v rámci této práce jsou z Tab. 5 nejdůležitější hodnoty sání v hloubkách 9,1 m a 15,2 m, které se nejvíce blíží hloubkám odběru brněnského téglu. V prvním případě je to 193,8 kPa a ve druhém 275,1 kPa. Porovnání hodnot sání změřeného Skemptonem a změřeného v rámci této práce je uvedeno v bodě 8.3.

Kromě Skemptonu stanovili sání londýnského jílu také např. Burland a Maswoswe (1982). Jejich měření jsou uvedena v Tab. 6.

hloubka (m)	8,4	15,1	19,7
sání (kPa)	155	231	347

Tab. 6: Hodnoty sání londýnského jílu (převzato z Burland and Maswoswe, 1982)

Hodnoty, které dostali, se mírně liší od těch odhadnutých Skemptonem. Důležitým zjištěním pro tuto práci je však fakt, že sání, změřené Burlandem a Maswoswem (1982), se řádově shoduje s měřením Skemptonem (1961). Sání londýnského jílu v hloubkách 10 m a 15 m se podle těchto autorů pohybuje v hodnotách kolem 200 kPa. Tato skutečnost je komentována v bodě 8.3.

8.3 Výsledky mých měření

Tab. 2 (kapitola 7.) ukazuje sání brněnského téglu, které jsem změřil metodou filtračního papíru. Jak bylo zmíněno výše (viz 8.), lze tyto hodnoty porovnat s odhadnutým sáním podle 8.1 a se sáním londýnského jílu (viz 8.2). Takové porovnání pak dá odpověď na otázku, zda je sání stanovené v rámci této práce reálné.

Na první pohled je patrné, že sání se od sebe odlišují o jeden řád. Naměřené hodnoty jsou příliš vysoké a výsledky mých měření jsou tedy pro další výzkum (např. stanovení K_0) v podstatě nepoužitelné. V následujících bodech se pokusím uvést příčiny, které mohly vést k nepovedeným měřením.

8.3.1 Vyschnutí vzorků

Nerealisticky vysoké hodnoty sání mohou být zaprvé způsobeny vyschnutím vzorků. Vzhledem k tomu, že měření sání neproběhlo ihned po odběru vzorků, ale mezi jednotlivými kroky byla třítydenní pauza (u vzorků *I*, *II* a *III*), je tento předpoklad jistě oprávněný. K vysušení mohlo dojít také během přípravy vzorku na vlastní měření. Myslím si však, že jsem během přípravy udělal vše proto, abych vzorky před vyschnutím ochránil. Z odběráku, zabaleného v plastové fólii, byl po rozbalení vytlačen válcový vzorek. Ten byl okamžitě rozřezán a nařezané vzorky byly zabaleny do plastových sáčků (viz 5.1.2). V případě vzorků *IV* a *V* byla doba mezi vybalením válcového vzorku a zabalením nařezaných vzorků do sáčků ještě menší. Nebyla zde totiž prodleva kvůli přípravě vzorků pro edometrické zkoušky kolegy Krupičky.

Vyschnutí vzorků se samozřejmě ve výsledku projeví tím, že se zvýší naměřené sání. Je to patrné z kalibrační křivky pro filtrační papír na Obr. 10. Čím nižší je obsah vody ve filtračním papíru, tím vyšší je sání (log kPa). Moje měření dávají hodnotu sání kolem 3 až 3,5 log kPa. Pro správné výsledky by byla potřeba hodnota někde mezi 2 a 2,5 log kPa.

8.3.2 Kontakt filtračního papíru se vzorky

Dalším důvodem pro nadhodnocené sání může být nedostatečný kontakt mezi filtračním papírem a vzorkem téglu. V takovém případě nedochází k potřebnému proudění vody ze vzorku do filtračního papíru. Oba systémy se tak nedostanou do stavu rovnováhy a výsledky opět dávají vyšší sání.

Kontakt mezi papírem a vzorkem ale byl podle mě dostatečný. U vzorků *IV* a *V* byl tégl v kontaktu s filtračním papírem skoro dvojnásobnou dobu než v případě vzorků *I*, *II* a *III*. Přesto byla měření chybná. Je však pravda, že sání je u vzorků *IV* a *V* menší než u ostatních tří. Patrně to lze přisuzovat právě delšímu kontaktu papíru se vzorky. K této variantě jsem přistoupil poté, kdy první tři měření neposkytla očekávaná sání. Částečně to byl postup úspěšný. Je otázkou, zda by měl ještě delší kontakt vzorku a filtračního papíru za následek snížení sání na požadovanou hodnotu. Můj názor je takový, že ani dlouhodobější (např. 3 týdny) kontakt vzorku s papírem by sání nesnížil na reálné hodnoty.

8.3.3 Odklon od normy

Jak jsem uvedl v bodě 5.1.2 (třetí odrážka), liší se můj postup od normy ASTM D 5298 - 03. Norma uvádí, že vzorky se během doby kontaktu s filtračním papírem uchovávají v kovovém nebo skleněném kontejneru uzavřeným víčkem. Takovou nádobu jsem bohužel neměl k dispozici. Vzorky jsem proto zabalil do několika (4-5) uzavíratelných plastových sáčků. Sáčky byly sice uzavíratelné, jejich absolutní vzduchotěsnost je však diskutabilní. Sáček, ve kterém byl přímo vzorek zeminy, jsem obalil izolační páskou. Totéž jsem provedl i u vrchního sáčku.

I když jsem nepostupoval podle normy ASTM pouze v tomto jediném bodu, mohlo to ovlivnit výsledky měření. Nerealistické hodnoty sání mohou být výsledkem špatné těsnosti výše zmíněného řešení. V tom případě by docházelo zaprvé k vysychání vzorků a zadruhé k vypařování vody z filtračního papíru. Při balení vzorků do sáčků jsem postupoval velmi pečlivě, přesto nemohu s jistotou zaručit, že výše zmíněné řešení neovlivnilo výsledky měření.

8.3.4 Přesun filtračního papíru

Přesun vlhkého filtračního papíru od vzorků zeminy do plastového sáčku za účelem vážení s sebou přináší rizika ztráty vody. V bodě 5.1.2 (šestá odrážka) jsem zmínil, že v průběhu transportu dochází během 5 - 10 s k vypaření 5 % vody z filtračního papíru. Příčinou nerealistického sání však tato skutečnost podle mého názoru není. Přesun jsem kromě prvního vzorku provedl v rozmezí udávaném normou. U prvního vzorku byla doba přesunu delší, ale rozhodně nepřesáhla 10 s. I při úvaze o 5 % výparu vody se sání nedostane do požadovaných hodnot. U ostatních vzorků byla doba pro přesun dodržena a výsledky se stejně neshodují s předpokládanými hodnotami.

8.3.5 Vážení

Pravděpodobně poslední možnou příčinou nezdaru při měření sání může být vážení. Tuto možnost však nepovažuji za pravděpodobnou. Na výsledcích vážení (viz Tab. 2) jsou sice patrné drobné odchylky mezi hmotnostmi T_c a T_h , jsou ale v řádu 10^{-4} až 10^{-3} . Kromě toho bych řekl, že s nimi norma ASTM počítá. Proto je nepovažuji za určující.

8.4 Hodnocení

Podle mého názoru jsou hlavní příčinou nerealistických výsledků vyschlé vzorky. K tomu pravděpodobně došlo během přepravy a skladování vzorků. Částečně mohlo k vyschnutí dojít během přípravy vzorku. Je třeba vzít v úvahu, že vzorky *IV* a *V* byly zkoušeny s velkým zpožděním od vlastního odběru. Na druhou stranu, vzorky jsem vyřizl ze středu velkého válcového vzorku (uloženého ve skladu), kde jsem předpokládal menší vyschnutí. Sání změřené na vzorcích *IV* a *V* je navíc menší než u vzorků *I*, *II* a *III*. Jak už jsem zmínil výše, lze to přisoudit delšímu kontaktu filtračních papírů se vzorky než u prvních třech vzorků. Lze také předpokládat, že k rozdílným výsledkům mohla přispět právě odlišná lokalizace vyříznutých vzorků v odebraných válcových vzorcích mezi první (vzorky *I*, *II*, *III*) a druhou sérií (vzorky *IV* a *V*). To znamená, že první série byla vybrána z okraje válce a druhá naopak z jeho středu. První série pocházela z válcového vzorku, který použil pro edometrické zkoušky kolega Krupička. Pro měření sání vzorků *I*, *II*, *III* jsem proto využil odřezané části válcového vzorku, které byly pro měření v edometru již nepoužitelné. Druhá série pocházela z odebraného válcového vzorku, který byl použit pouze pro měření kapilárního sání. Z toho důvodu jsem sání mohl měřit na vzorcích vyříznutých ze středu válce. Tato skutečnost byla nutnou podmínkou pro měření sání vzorků *IV* a *V*, protože bylo potřeba použít co nejméně vyschlé vzorky, jak jsem již komentoval v části 6.2.

Pro další studium brněnských téglů a správné hodnoty sání by bylo jistě potřeba provést další měření sání. To je však nad rámec této práce. Proto alespoň navrhu, jaké další zkoušky by bylo vhodné uskutečnit.

Určitě by bylo třeba provést znovu měření sání metodou filtračního papíru. Tím by se předpoklad o vyschlých vzorcích buď potvrdil, nebo vyvrátil. V případě provedení zkoušky by bylo nutné zajistit odběr vzorků bezprostředně před vlastním měřením a při přepravě provést taková opatření, aby vzorky nevyschly. Kromě měření filtračním papírem, by bylo dobré stanovit sání také jinou metodou. K tomuto účelu by se asi nejlépe hodil snímač tlaku „IC suction probe“, který jsem popsal výše v této práci. Vzájemné porovnání výsledků obou metod by, dle mého názoru, poskytlo dobrou představu o hodnotách sání brněnských téglů a poskytlo prostor pro jejich další studium a stanovení dalších parametrů.

9. Stanovení K_0

Určit součinitel tlaku v klidu (K_0) není bohužel v rámci této práce možné kvůli nesprávným hodnotám sání. Proto pouze stručně zmíním postup, jak K_0 z hodnot sání stanovit.

Základním vztahem, který charakterizuje součinitel tlaku v klidu je:

- $K_0 = \sigma_h' / \sigma_v'$, kde σ_h' je efektivní horizontální napětí, σ_v' je efektivní vertikální napětí

Pro normálně konsolidované zeminy je K_0 konstantní a lze stanovit podle Jákyho vztahu:

- $K_{0NC} = 1 - \sin \varphi_c'$, kde φ_c' je kritický úhel vnitřního tření

U překonsolidovaných zemin je stanovení K_0 výrazně obtížnější, protože pro ně není konstantní. Existuje několik rovnic, podle kterých lze K_0 spočítat. Pro tuto práci je důležitá především rovnice, která využívá naměřené hodnoty sání. Burland a Maswoswe (1982) počítají K_0 londýnského jílu z rovnice:

- $K_0 = (p_k / \sigma_v' - A_s) / (1 - A_s)$, kde p_k je sání, σ_v' je efektivní vertikální napětí, A_s je koeficient pórového tlaku

Koeficient A_s se stanoví v triaxiálním přístroji a jeho hodnota je $A_s = 1/3$ nebo $A_s = 1/2$. Hodnota $A_s = 1/3$ odpovídá izotropnímu elastickému materiálu (Doran et al., 2000). Pro londýnský jíl je typická hodnota $A_s = 1/2$ (Burland a Maswoswe, 1982). V Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty K_0 pro londýnský jíl, které stanovili Burland a Maswoswe (1982). σ_v' se spočítá z rovnice $\sigma_v' = \sigma_v - u$, kde σ_v je totální vertikální napětí, u je pórový tlak.

Hloubka (m)	totální vertikální napětí (kPa)	pórový tlak (kPa)	sání (kPa)	$A_s = 1/3$	$A_s = 1/2$
				K_0	K_0
8,4	168	52	155	1,51	1,68
15,1	302	117	231	1,35	1,47
19,7	394	162	347	1,75	1,99

Tab. 7: Hodnoty K_0 londýnského jílu (Burland and Maswoswe, 1982)

Pro srovnání jsou v Tab. 8 uvedeny hodnoty součinitele K_0 pro londýnský jíl stanovené Skemptonem (1961).

hloubka (m)	3,0	4,6	6,1	9,1	12,2	15,2	18,3	21,3	24,4	27,4	30,5	33,5
K_0	2,17	2,64	2,80	2,74	2,53	2,29	2,10	1,93	1,79	1,67	1,54	1,46

Tab. 8: Hodnoty K_0 londýnské jílu (Skempton, 1961)

Součinitel K_0 londýnského jílu je především u Skempton (1961) ve srovnání s předpokládaným součinitelem K_0 brněnského jílu příliš vysoký. U téglu lze předpokládat hodnoty kolem 1 (Ing. Jan Boháč, CSc. - ústní sdělení). Tento předpoklad se bohužel díky nerealisticky vysokému sání nepodařilo potvrdit.

10. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo stanovit negativní pórový tlak brněnského téglu filtračním papírem. Měření jsem provedl podle normy ASTM na pěti vzorcích téglu, které byly odebrány z vrtů v blízkosti křižení ulic Hradecká a Žabovřeská v Brně.

Brněnský jíl byl v práci srovnán s velmi podobnou zeminou - londýnským jílem. Uvedl jsem hodnoty sání londýnského jílu, které jsem potom srovnal s mnou naměřenými hodnotami. Kromě toho jsem sání téglu odhadnul pomocí jednoduché úvahy o izotropním materiálu. Odhadnuté sání téglu a sání londýnského jílu jsem porovnal s naměřenými hodnotami sání a zjistil jsem, že stanovené sání brněnského jílu je nerealisticky vysoké. Tento fakt jsem se pokusil okomentovat a nalézt příčinu nezdaru.

Dalším cílem práce bylo stanovit součinitel tlaku v klidu. Vzhledem k nadhodnocenému sání nebylo možné součinitel spočítat. Proto byl uveden pouze postup jeho stanovení bez konkrétních hodnot.

Dle mého názoru by bylo dobré v budoucnu provést další měření sání metodou filtračního papíru na čerstvých vzorcích. Kromě toho by bylo přínosné, aby se realizovala měření sání i jinou metodou, než jaká byla použita v rámci této práce.

11. Seznam použitých podkladů

Literatura:

ASTM D 5298 - 03. Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, ASTM International.

Burland, J. B., and Maswoswe, J., (1982). Discussion: In situ measurement of horizontal stress in overconsolidated clay using push-in spade-shaped pressure cells. *Géotechnique* 32, No. 2, 285-286.

Crilley, M. S., Schreiner, H. D., Gourley, C., (1991). A simple field suction measurement probe. In: Proceedings of 10th African regional conference on soil mechanics and foundation engineering, Lesoto, str. 291 - 298. In: *Tarantino, A., Ridley, A. M., Toll, D. G., (2008). Field Measurement of Suction, Water Content, and Water Permeability. Geotechnical and Geological Engineering, 26:751-782, Springer, DOI 10.1007/s10706-008-9205-4.*

Doran, I. G., Sivakumar, V., Graham, J., and Johnson, A., (2000). Estimation of *in situ* stresses using anisotropic elasticity and suction measurements. *Géotechnique* 50, No. 2, 189-196.

Greacen, E. L., Walker, G. R., and Cook, P. G., (1987). Evaluation of the Filter Paper Method for Measuring Soil Water Suction. *International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status*, Logan, UT, p. 138; Procedure for the Filter Paper Method of Measuring Soil Water Suction, Division of Soils, *Report 108, CSIRO*, Glen Osmond, South Australia, Australia. In: *ASTM D 5298 - 03. Standard Test Method for Measurement of Soil Potential (Suction) Using Filter Paper, ASTM International.*

Guan, Y., (1996). The measurement of soil suction. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.

Head, K. H., (2006). Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests, Third Edition. Whittles Publishing, Scotland, UK, 412 p.

Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z., (2011). Geologická minulost České republiky. Academia, Praha, 436 str.

Jotisankasa, A., (2005). Collapse behaviour of a compacted silty clay. Ph.D. Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College London, London.

Krupička, M., (2012). Stanovení horizontálního napětí brněnského jílu oedometrickou zkouškou. Bakalářská práce, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Meilani, I., Rahardjo, H., Leong, E., Fredlund, D. G., (2002). Mini suction probe for matric suction measurements. *Canadian Geotechnical Journal* 39, 1427-1432, DOI: 10.1139/T02-101

Montañez, J. E. C., (2002). Suction and volume changes of compacted sand-bentonite mixtures. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, University of London (Imperial College of Science, Technology and Medicine), London.

Pavlová, M., (2011). Mocnost nadloží a překonsolidace brněnského jílu. Bakalářská práce, Ústav

hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Ridley, A. M., (1993). The measurement of soil moisture suction. Ph.D. thesis, University of London, London. In: *Montañez, J. E. C., (2002). Suction and volume changes of compacted sand-bentonite mixtures. Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, University of London (Imperial College of Science, Technology and Medicine), London.*

Ridley, A. M., Burland, J. B., (1993). A new instrument for the measurement of soil moisture suction. *Géotechnique* 43, No. 2, 321-324.

Royse, K. R., de Freitas, M., Burgess, W. G., Cosgrove, J., Ghail, R. C., Gibbard, P., King, C., Lawrence, U., Mortimore, R. N., Owen, H., Skipper, J., (2012). Geology of London, UK. *Proceedings of the Geologists' Association* 123, 22 - 45, DOI: 10.1016/j.pgeola.2011.07.005

Skempton, A. W., (1961). Horizontal Stresses in an Over-Consolidated Eocene Clay. *Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Volume 1, 351-357.

Svoboda, T., (2010). Numerický model NRTM tunelu v tuhém jílu. Doktorská disertační práce, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Tarantino, A., Ridley, A. M., Toll, D. G., (2008). Field Measurement of Suction, Water Content, and Water Permeability. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26:751-782, Springer, DOI 10.1007/s10706-008-9205-4

Wang, Z., Lao Y. D., (2002). Measurement of matric suction of Loess in Shanxi Province. In: Juca', JFT, de Campos, TMP, Marinho FAM (eds) *Unsaturated soils. Proceedings of 3rd international conference on unsaturated soils*, vol 1. Recife, Lisse, Balkema, pp 347-350. In: *Tarantino, A., Ridley, A. M., Toll, D. G., (2008). Field Measurement of Suction, Water Content, and Water Permeability. Geotechnical and Geological Engineering*, 26:751-782, Springer, DOI 10.1007/s10706-008-9205-4

Internetové zdroje:

Ředitelství silnic a dálnic ČR, (2009 - 2012). Velký městský okruh Brno. www.mestsky-okruh-brno.cz, 7.8.2012, Omega design.

Seznam.cz, (1996 - 2012). Mapy.cz. www.mapy.cz, 4.8.2012

Ústní sdělení:

Ing. Jan Boháč, CSc., (2012). Informace o předpokládané hodnotě K_0 brněnského jílu. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Elektronická korespondence:

Martin Krupička, (8.8. 2012). Informace o objemové tíze brněnského jílu. Student bakalářského

studijního programu Geologie, obor Hospodaření s přírodními zdroji, 3. ročník, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Ing. Josef Rott, (17.7. 2012). Informace o odběrech vzorků. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Praha.